

장대교량 기초 설계를 위한 수륙혼합 전기비저항 탐사 사례

정호준¹⁾, 김정호²⁾, 권형석¹⁾, 안희윤¹⁾, 김기석¹⁾

1) (주) 희송지오텍, 2) 한국지질자원연구원 탐사개발연구부

Case history of electrical resistivity survey at the river for bridge design

Ho-Joon Chung¹⁾, Jung-Ho Kim²⁾, Hyoung-Seok Kwon, Hee-Yoon Ahn, Ki-Seog Kim¹⁾

1) Heesong Geotek, Co., Ltd., 2) Geophysical Exploration & Mining Research Division, Korea
Institute of Geoscience and Mineral Resources

요약: 근래에 들어 설계되는 교량들은 경간이 넓어지는 추세이며, 이때 교량의 안전성을 위해 적합한 기초 지반을 확보하는 것이 중요한 문제중의 하나이나, 물로 덮힌 강 하부의 정확한 지반정보를 얻는 것은 상당히 어려운 문제이다. 본 논문에서는 교량 건설 부지의 전반적인 지반정보를 획득하기 위해 강 지역에서 실시한 전기비저항 탐사를 소개하고자 한다. 주로 육상에서 실시되었던 전기비저항 탐사는 물로 덮힌 강 지역에서도 강하부의 전기비저항 구조를 성공적으로 파악하였고 시추조사 결과에서 그 정확성이 입증되었다. 강구간에서의 전기비저항 탐사 결과는 안전한 교량의 설계를 위한 양호한 교량 기초 위치의 선정에 필요한 단층파쇄대 등의 지질구조에 대한 정보를 제공할 수 있었다. 강물 구간에서의 전기비저항 탐사의 적용은 예상치 못한 지반조건에 의한 시공시의 설계변경 또는 기초지반 보강 시 발생하는 수질오염, 건설비용 증가 등을 미연에 방지하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

주요어: 전기비저항 탐사, 교량 설계, 단층파쇄대

Abstract: Designing the bridge with wider span is the present-day trends. Therefore, constructing the foundation on the suitable ground is one of the important factor for the safety of bridge. But, getting a subsurface information under the river is not easy problem. This paper shows results of electrical resistivity survey at the river. Electrical resistivity survey have revealed geoelectrical structure successfully. The result is well matched with boring and can provide useful information on the geological structure such as fault fracture zone for suitable location of foundation. It is expected that application of electrical resistivity survey at the river will be helpful in preventing modification of design due to unexpected ground condition during the construction, or water contamination and increment of costs accompanied with ground reinforcement.

Keywords: electrical resistivity survey, bridge design, fault fracture zone

1. 서론

교량이 건설될 때 기초가 설치될 위치의 하부 지반정보를 정확히 파악하는 것은 기초의 안정성 측면에서 매우 중요한 사안이다. 근래 들어 설계/시공되는 교량들은 공사비 절감, 미관적인 요소, 교량이 건설된 이후의 하천 활용성 등을 감안하여 교각간의 거리인 경간이 넓어지고 있는 추세로 교각의 수가 작아지므로 안정적인 기초지반을 확보하는 것이 중요하다.

교량 설계를 위한 지반 정보 획득을 위해서는 시추조사가 가장 정확한 방법으로 인정되고 있으며, 시추공에서 실시한 현장 암반시험 결과들로부터 설계정수들을 도출하게 된다. 그러나 시추조사의 경우 일반적으로 교각 1개소당 2공 정도를 실시하고 또한 비용상의 문제 때문에 구조물 설치 후 지반 내 응력 분포가 주변과 평형이 이루어지는 심도까지 조사가 이루어지지 않기 때문에 상황에 따라서는 시추공 주위의 중요한 지반 정보를 파악하지 못하는 경우도 생기게 된다. 특히 시추조사 종료 심도 하부에 연약대가 존재하는 경우 연약대의 존재를 모르는 상태에서 설계를 하게 되므로 기초의 안정성이 위협을 받게 된다. 또한 교량이 건설되는 하천 지역은 강물 또는 충적층 때문에 노두 또는 단층 등의 육안판찰이 불가능한 경우가 대부분이어서 지질학적인 정보도 얻기 힘든 경우가 많으며, 인공위성 영상을 이용한 선구조 분석 또는 인근 지역에서의 지질구조를 바탕으로 대상 지역을 지나는 단층 등의 지질학적 구조들의 존재를 예측하는 수준이며 정확한 위치 등은 파악하기 곤란하다.

본 논문에서는 이상과 같은 상황에서 교량건설 예정 부지의 전반적인 지하 지질구조 파악을 위해 전기비저항 탐사를 적용하고 탐사 결과에서 밝혀진 지질 이상대 위치의 확인시추를 통해 지반상태를 확인하고 이를 교량 설계에 반영한 사례를 소개하고자 한다.

이와 같은 강 지역에서의 전기비저항 탐사는 단층 등의 연약대의 위치 파악과 교각 하부 지반에 대한 정보 획득을 통해 안전한 교각 위치 선정과 교각의 보강공법 선정시 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 수록혼합 전기비저항 탐사 개요

강에서의 전기비저항 탐사는 원리적으로는 육상구간에서의 탐사와 다를 것은 없으나 지반에 비해 상대적으로 균질하고 $70\sim90 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ 정도의 전기비저항을 가지는 수층이 최대 10여 m 두께로 분포한다는 특성 때문에 몇 가지 고려해야 할 사항들이 있다.

첫번째로 고려할 사항은 자료 측정을 위한 전극배열법이다. 그 동안 국내에서는 육상탐사에서 주로 쌍극자배열을 선택하여 탐사를 실시하여 왔다. 이는 여러 가지 전극 배열법 중 쌍극자배열이 지하의 수평적 전기비저항 변화에 가장 민감하게 반응하기 장점 때문이다. 반면에 쌍극자배열의 측정신호 크기는 거리에 따라 타 배열법에 비해 급격히 작아지는 단점을 가지고 있기 때문에 전기비저항이 낮은 상황에서는 자료의 질이 다소 불량해지며 경우에 따라서는 자료측정이 불가능한 경우도 있다. 강폭이 수백 m 이상 되고 수심이 10여 m 정도가 되는 경우에는 하저 지반의 전기비저항이 낮고 하저 지반에 전극을 설치하기가 용이하지 않기 때문에 쌍극자배열로는 측정자료가 불량할 가능성이 매우 높다. 따라서 신호대 잡음비가 높으면서도 쌍극자배열에 근접하는 해상도를 보장할 수 있는 전극배열을 선택하는 것이 바람직하다. 이러한 관점에서 김정호 등 (1999)는 기존의 쌍극자배열 및 단극배열을 변형한 배열 (Fig. 1)들을 제안하였으며, 이 배열들은 다수의 강구간 탐사 현장 및 육상탐사에서 적용되어 실용성이 입증되었다.

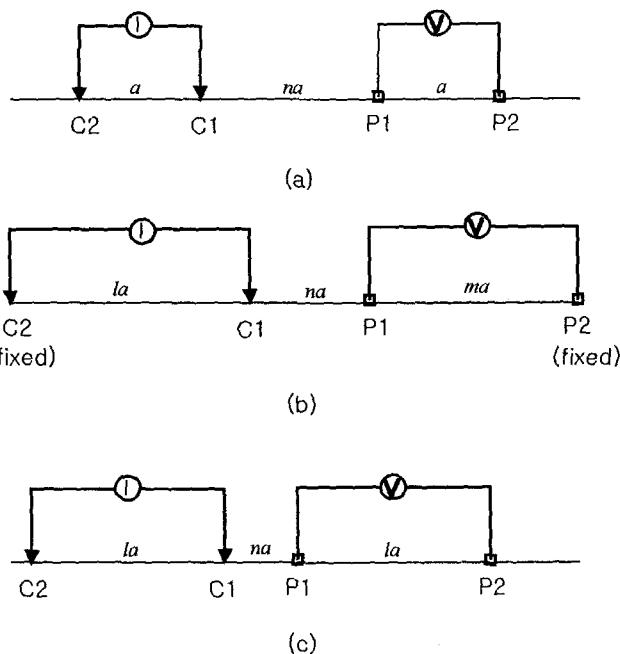


Fig. 1. Modified electrode arrays. (a) conventional dipole-dipole array, (b) modified pole-pole array, (c) modified dipole-dipole array.

두번째로 고려할 사항은 전극의 설치 위치 및 간격이다. 강구간에서 전극은 수면 또는 강 바닥에 설치할 수 있다. 수심이 10미터 이상 깊어지면 전극을 강 바닥에 설치하는 것이 바람직하며 이 경우 잠수부를 동원하여야 하는 등 전극 설치작업이 복잡해진다. 수심이 10 m 이하로 얕은 경우는 수면에 설치하여도 큰 문제가 발생하지는 않지만 가능하면 강바닥에 전극을 설치하는 것이 바람직하다. 전극 설치 간격은 교량구간에서는 관심 대상이 되는 심도가 50여 미터 이내이기 때문에 5 m 정도 간격으로 설치하여 탐사를 수행하는 것이 상세한 지하의 영상을 획득하는데 도움이 된다.

세번째로 고려해야 할 사항은 탐사자료의 역산해석에 관한 부분이다. 강 구간에서의 전기비저항탐사 측정값들은 균질한 강물의 존재로 인하여 육상탐사에서보다 측정값의 변화가 훨씬 완만한 형태를 보이는 것이 일반적이다. 즉, 육상탐사에서는 가단면도상에서 이상대의 존재를 어느 정도 예견할 수 있는데 반해, 강구간의 탐사 결과들에서는 가단면도상에서 특정한 이상대의 징후를 파악하기 어려운 경우가 대부분이다. 따라서 정확한 지하의 영상을 획득하기 위해서는 역산해석에 세심한 주의를 기울여야 한다. 현장탐사 시 강의 수심 및 강물의 전기비저항을 비교적 정확히 측정할 수 있으므로 이들을 이용하여 역산모델에서 강물에 해당하는 부분의 물성을 고정하고 그 하부의 역산 블록들은 하상 지형을 바탕으로 구성하여 역산을 수행하는 것이 더 정확한 지하의 전기비저항 영상을 얻는데 도움이 된다. 또한 탐사 대상 영역이 수상과 육상을 포함하는 경우가 대부분이므로 수상 및 육상 구간에 걸쳐 취득된 자료를 하나의 역산모델에 포함시켜 자료를 해석하는 것이 바람직하다. 이를 위해서는 역산과정에서 지하모델의 반응을 모델링할 때 유한요소법을 이용하여 모델링을 실시하는 것이 필수적이다.

3. 탐사 적용 사례

3.1 경기도 북한강 구간 탐사사례

본 탐사 사례는 중앙선 복선전철 건설을 위한 T/K 프로젝트에서 경기도 남양주시와 양평군의 경계에 위치한 북한강을 횡단하는 철도교량 건설 예정부지에서 단층파쇄대의 위치 규명을 위해 전기비저항 탐사를 수행한 예이다. 교량 건설 예정 지역은 경기도 양평군 양수리 인근으로 팔당댐 건설 이전에는 강폭이 약 180 m, 수심이 2 m 내외였으나, 댐 건설 이후 수몰되어 현재는 강폭이 대략 650 m 정도이며 수심은 강가를 제외하고는 대부분 8 ~ 12 m 정도가 되었다. 이 지역은 북한강을 따라 경강단층이 발달할 것으로 예상되는 지역이나 강물 때문에 강가를 제외하고는 육안으로 지표지질조사를 수행할 수 없어 교량 부지상의 단층대의 발달 상황을 전혀 예측할 수 없다. 이에 강 하부 지반에 위치한 단층대의 위치 규명과 퇴적층, 기반암의 분포양상을 규명하기 위해 전기비저항 탐사와 반사법 탄성파 탐사를 실시하였으며, 본 논문에서는 이 중 전기비저항 탐사 결과를 소개하고자 한다.

1) 경강단층대

경강단층대는 Fig. 2에 표시된 바와 같이 강원도 화천에서 경기도 청평, 양수리, 광주를 거쳐 경기도 발안까지 연장되는 길이 약 175 km의 조구조 (tectonic) 규모의 단층으로 알려져 있으며 폭은 정확히 제시된 바 없으나 청평 지질도록에서 수 m에서 수십 m 폭의 압쇄대 (mylonitic zone)로 보고된 바 있다. 과업 구간에서 경강단층대는 북한강을 따라 발달하는 것으로 추정되며, 주향은 N30° E, 경사는 80° ~ 90° 정도로 교량 노선과 70° ~ 90° 정도의 각도로 교차할 것으로 예상되었다. 지표지질조사에서는 북한강변에서 경강단층대의 경계부에 해당하는 것으로 추정되는 단층들이 발견되었으나(Fig. 3), 강 하부의 정확한 발달 상황은 예측하기가 곤란하였다.

2) 수록혼합 전기비저항탐사

북한강 구간의 경강단층대 파악을 위하여 Fig. 4와 같이 교량 계획 노선과 평행한 서로 30m 씩 이격된 3개의 측선 및 1개의 횡단 측선을 설정하여 탐사를 실시하였다. 전선은 5m 간격으로 전극이 달린 30심 방수전선 3조를 제작하여 사용하였으며 강 중앙부에 바지선을 띄우고 전선을 전개하여 전극을 강바닥에 설치한 후 자료를 측정하였다. 자료의 측정은 변형된 단극배열 및 변형된 쌍극자 배열을 이용하였으며, 자료 측정간격은 5m, 10m로 하였다.

탐사 시 수심의 측정은 GPR을 이용하였으며, 전기전도도 측정기를 사용하여 일정 간격으로 강물의 전기비저항을 측정하였다. Fig. 5는 GPR을 이용하여 측정한 탐사 측선 주변의 수심을 나타낸 것으로, (a)는 Line 1에서 측정된 GPR 탐사 결과 단면, (b)는 Line2, Line1과 Line3에서 측정된 GPR 탐사에 의한 수심단면이며, (c)는 조사지역에서 격자망으로 측정된 GPR 탐사 결과로부터 작성된 수심도이다. Fig. 5를 보면, 하상 지형은 강 서쪽 부분은 지형의 기복을 보이며 깊어지는 형태이며, 강 중앙부에서 우측 부분은 비교적 평坦한 지형을 보인다. 측정된 수심자료 및 강물의 전기비저항 자료는 탐사 자료의 역산시 강물의 물성을 정확하게 입력하고 하상의 형태를 정확히 역산모델에 반영하여 해석의 정확도를 높이기 위한 자료로 활용되었다.



Fig. 2. Geologic map around survey area.

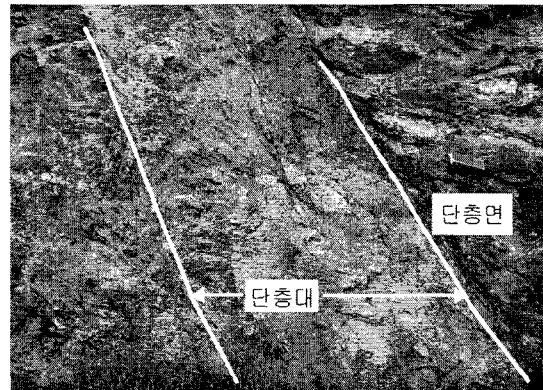


Fig. 3. Fault at the shore of the north Han river(N12° E/ 62° SE).

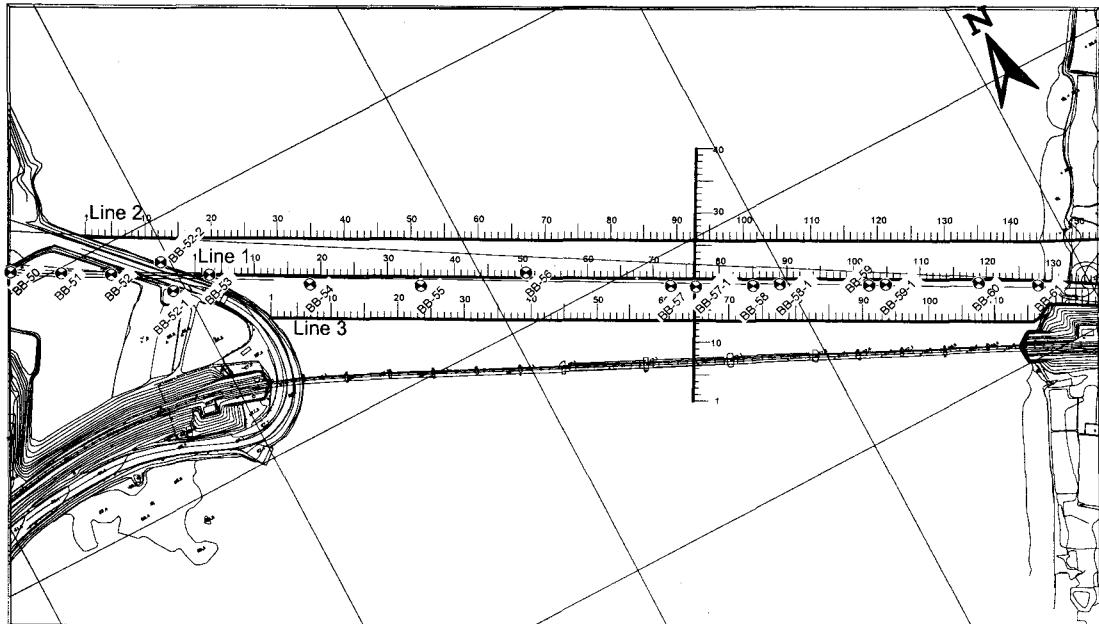


Fig. 4. Electrical resistivity survey lines of the north Han river site.

Fig. 6은 현장탐사 사진들로서 (a)는 잠수부를 동원하여 강바닥에 전극을 설치하는 과정을 보여주고 있으며, (b)는 바지선에 설치된 탐사장비들은 보여준다. 한번의 측선 설치 작업에서 방수전선 3조를 이용하여 최대 90개의 전극이 설치되며, 이들을 이용하여 다양한 전극배열 및 자료 측정간격에 대해 방대한 양의 자료를 측정하였으며, 이를 위해 자료측정은 자동 측정시스템을 이용하였다.

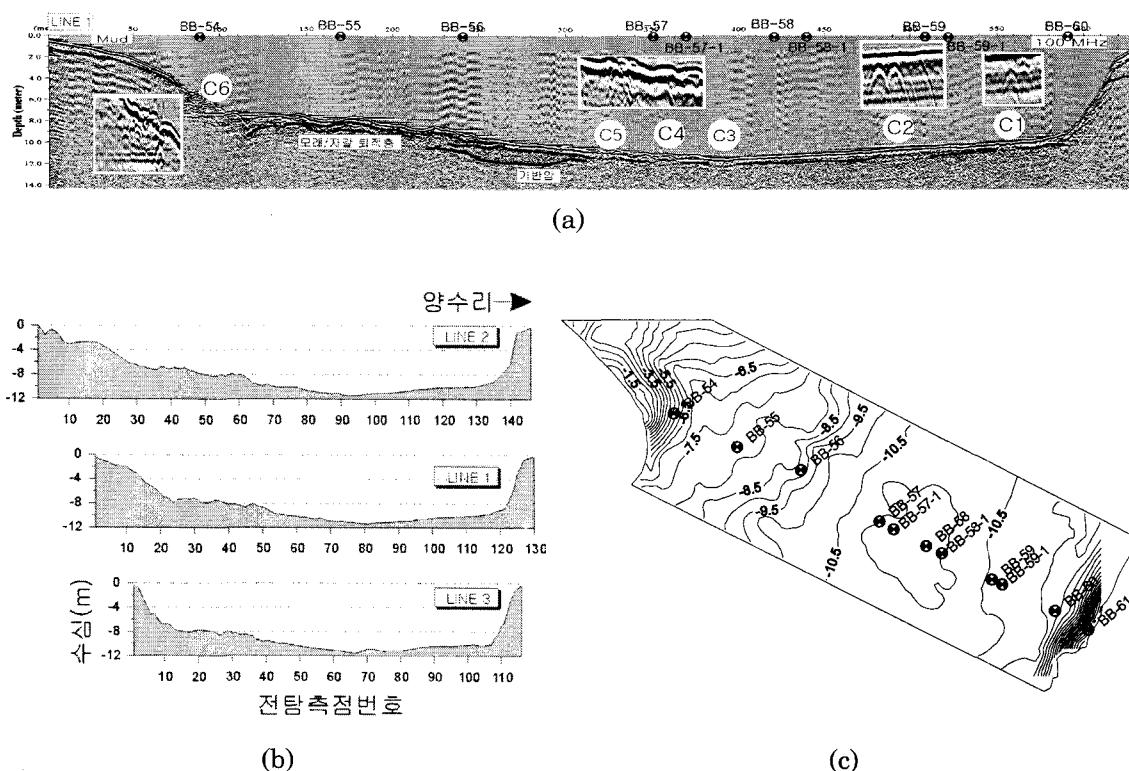


Fig. 5. The depth of water measured using GPR. (a) GPR survey result at Line 1, (b) Depth of water along survey line, (c) around survey area.

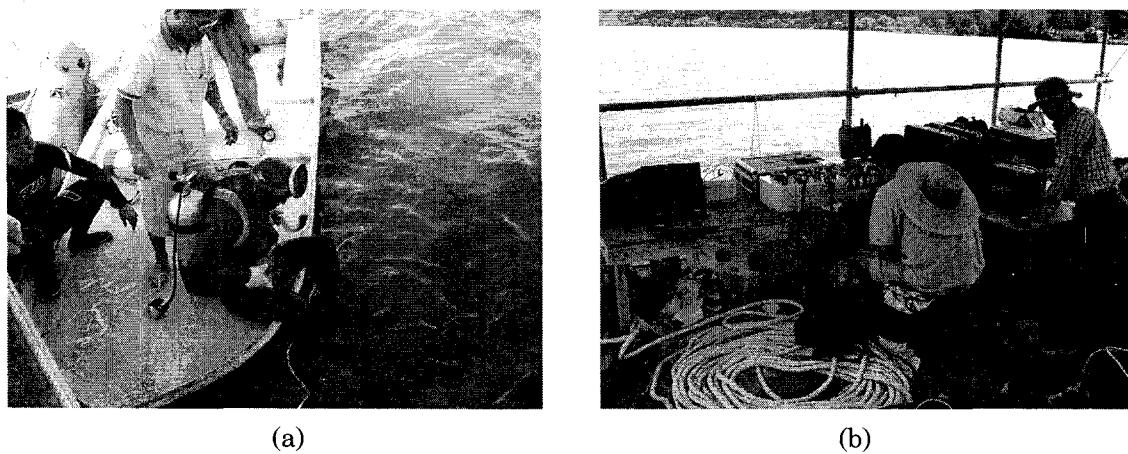


Fig 6. Field photographs. (a) A diver who places electrodes on the river bottom, (b) survey instruments on the barge.

3) 자료해석 결과

북한강 하상구간에서 전기비저항 탐사를 수행하였으며, 사용된 전극배열은 변형된 단극 배열과 변형된 쌍극자배열이며, 측정간격은 5 m와 10 m로 하여 자료를 획득하였다. 취득한 여러 종류의 자료들 중에서 측정이 양호한 자료들만을 선택하여 각 자료들의 해석결과를 비교하고, 또한 여러개의 자료를 복합적으로 해석한 결과를 비교하여 최종 전기비저항 영상을 획득하였다 (Fig. 7).

Fig. 7에서 보면, 강 하부의 전기비저항값 분포특성은 전반적으로 1000 ohm-m 내외의 전기비저항이 분포하고 국부적으로 200 ohm-m 이하의 저비저항 이상대들이 여러 지역에 발달하고 있다. 저비저항 이상대들의 발달 위치를 보면 주로 강의 오른쪽 부분에 집중되어 있음을 볼 수 있다. 이러한 저비저항 이상대들은 측선과 거의 수직으로 교차할 것으로 예상되는 경강단층대와 관련된 것으로 판단된다. 또한, 저비저항 이상대들의 형태는 대부분 수직적으로 발달하고 있는데 이는 이 지역에서 경강단층이 고각도의 경사를 가지는 주향이동단층의 형태로 발달되어 있다는 사실을 반영한 것으로 해석된다. 각 측선상에 분포하는 저비저항 이상대들의 폭, 발달양상, 위치 등을 비교하여 볼 때, 이상대들은 크게 6개로 구분이 가능하며 (이상대 A~F), 이들 중에서 교량 노선상에서는 이상대 B와 C가 가장 발달된 이상대로 판단된다.

노선을 따라 실시된 시추조사 결과와 전기비저항 탐사결과를 비교해 보면 다음과 같다. 먼저, 이상대 B 부근에 위치하는 시추공 BB-57과 BB-57-1의 코아회수율 (TCR, Total Core Recovery)을 보면, 이상대 옆에 위치하는 시추공 BB-57에서는 심도 13 ~ 17.5 m 구간에서 TCR이 50 % 정도이며 나머지 구간에서는 75 % 이상을 보인다. 반면, 이상대에 위치하는 시추공 BB-57-1에서는 심도 14.5 m까지는 55 ~ 100 %의 TCR을 보이나 14.5 m 이하 심도에서는 TCR이 0 ~ 18 %로 거의 시추코아가 회수되지 않을 정도로 암반상태가 불량하였다 (Fig. 7의 시추코아 사진 참조).

이상대 D 부근에 위치하는 시추공 BB-58과 BB-58-1의 시추 결과를 보면, 시추공 BB-58에서는 시추 심도내에서 TCR이 60 ~ 95% 정도로 양호하였고, 시추공 BB-58-1에서도 TCR이 60 % 이상으로 양호한 상태를 보였다. 이는 시추공 BB-58과 BB-58-1은 위치상으로 이상대의 주변부에 해당하여 상대적으로 파쇄가 덜 진행되었기 때문으로 판단되며, 따라서 이상대 D와 같은 정도의 이상대는 경강단층내의 소규모 단층파쇄대와 연관된 것으로 추정된다.

이상대 C에 위치하는 시추공 BB-59의 시추결과를 보면, 심도 8.5 m 하부에서부터 시추 종료 심도인 심도 30 m까지가 점토화된 단층구간으로 밝혀졌으며, Fig. 7의 시추공 BB-59의 시추코아 사진에서 볼 수 있듯이 코아 회수율이 매우 낮고, 회수된 코아도 제대로 된 코아 형상을 갖춘 부분이 거의 없었다. 이에 반해, 이상대 C의 우측에 위치하는 시추공 BB-59-1은 전기비저항 단면상에서 1000 ohm-m 정도의 전기비저항을 보이는 구간으로, 전 구간에 걸쳐 매우 양호한 코아 회수율을 보였다.

이상에서 탐사결과와 시추조사 결과들을 비교하여 볼 때, 이상대 B, C와 같이 전기비저항이 매우 낮은 이상대들에서는 점토화된 단층구간, 매우 낮은 코아 회수율, 코아 유실 등이 발생하였으며, 이들은 경강단층의 주단층으로 해석된다. 이상대 A, D, E, F 등은 이상대 B, C에 비해 상대적으로 전기비저항이 높으며 (200 ~ 300 ohm-m) 주단층에 수반된 소규모 단층파쇄대들과 연관된 것으로 해석된다.

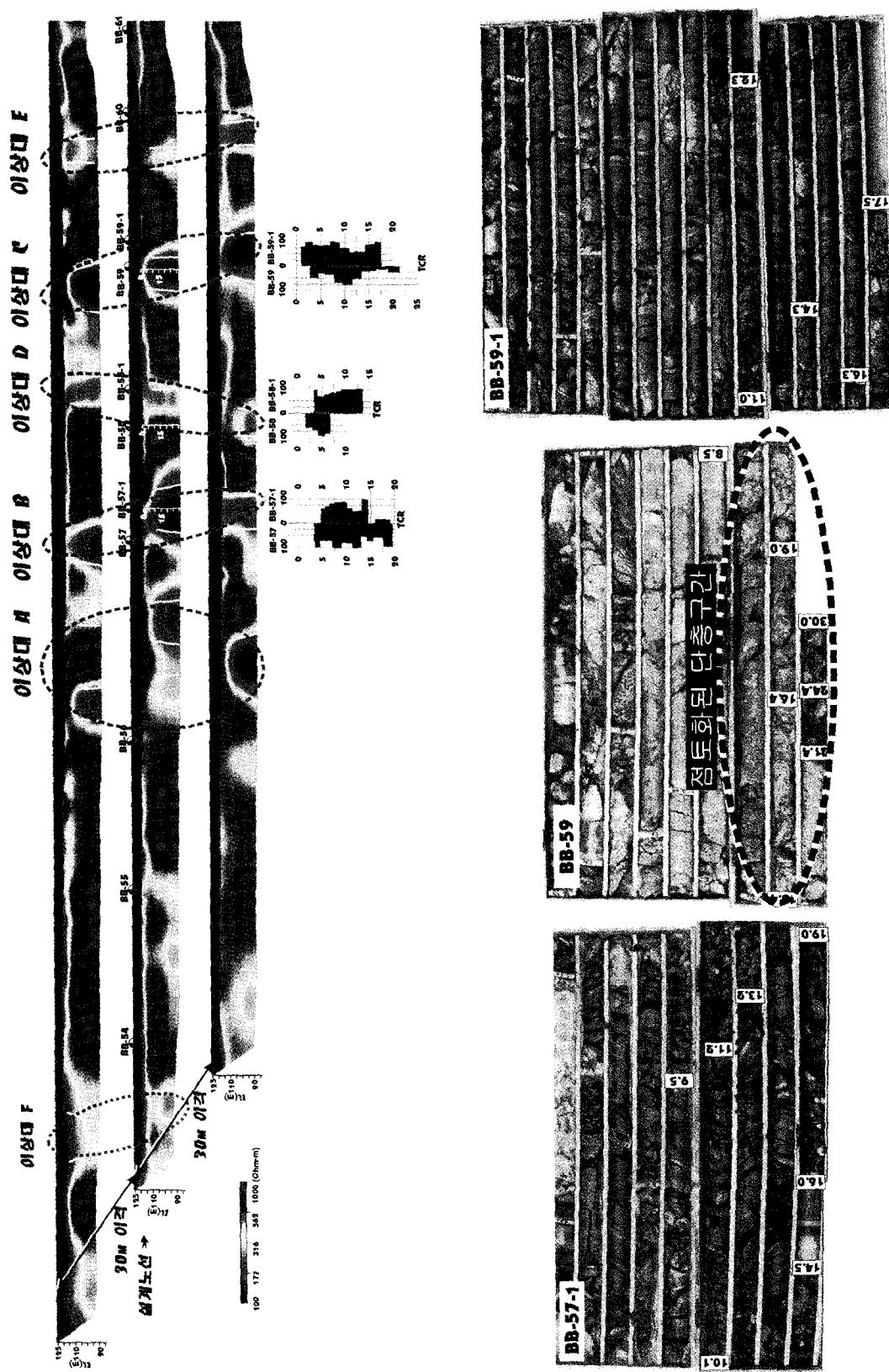


Fig. 7. Electrical resistivity sections and photographs of drilling cores.

3.2 충주시 인근 남한강 구간 탐사 사례

충주시 인근 국도 대체 우회도로 건설을 위해 남한강을 횡단하는 교량건설 예정부지에서 실시한 전기비저항 탐사 사례이다. 이 지역에는 앞의 북한강 지역과는 달리 교량 건설 예정구간에 알려진 큰 규모의 단층대는 없었으나, 교량이 건설될 강하부 및 논구간의 지질 구조를 파악하고자 강과 논구간에 걸쳐 탐사를 실시하였다.

1) 수록혼합 전기비저항탐사

탐사구간의 강폭은 약 400 m 정도이고, 수심은 약 100 m 구간에서만 최대 10여 m로 깊고 나머지 구간은 5 m 이하였으며 하상지형은 대체로 완만하게 변하였다. 탐사 측선은 노선 중앙과 좌우 60 m 씩 이격된 3개 종단측선과 횡단 방향 3개 측선을 계획하여 탐사를 실시하였다 (Fig. 8). 노선상에서 대략 3+850부근 좌측이 강이며, 우측은 논구간이다. 앞의 북한강의 사례와는 달리 수심이 대부분 5 m 내외여서 전극을 수면에 설치하여 탐사를 실시하였으며, 전극 설치 위치를 제외하면 나머지 사항들은 북한강 사례에서 언급한 것과 거의 동일하다.

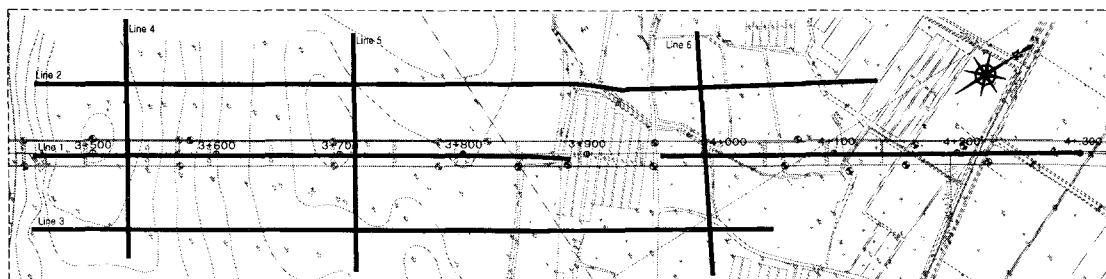


Fig. 8. Electrical resistivity survey lines of the south Han river site.

2) 자료해석 결과

Fig. 9는 노선과 평행한 3개 측선의 탐사결과를 나타낸 것이다. 강구간에서는 천부에 낮은 비저항을 보이는데 이는 하상퇴적층 (주로 자갈층)의 영향으로 해석된다. 육상구간에서는 천부의 저비저항대의 두께가 강구간보다 두꺼워지는 양상을 보인다. 시추조사 결과를 보면 하상구간보다 육상구간에서 자갈층의 두께가 두꺼워지며, 저비저항대가 두꺼워지는 양상과 퇴적층의 두께가 두꺼워지는 양상이 서로 잘 일치함을 알 수 있다.

전기비저항 단면들에서 관찰되는 저비저항 이상대로는 Fig. 9에 표시된 3+600 부근의 이상대가 가장 두드러진다. 이외에도 3+800 부근에서 주변보다 전기비저항이 낮아지는 영역이 측선에 일관되게 나타나는데 전기비저항의 크기로 보아 작은 규모의 파쇄대일 것으로 예상된다. 그리고 노선상의 3+550 지점에서 전기비저항이 낮아지는 영역이 보이며, 그림상에서 방향성을 유추하여 보면 3+600 위치의 이상대와 노선에서 우측으로 60 m 떨어진 Line 3 측선의 3+600부근에서 교차할 것으로 판단된다.

Fig. 10은 교각 건설 예정 위치인 3+570 지점에 위치하는 시추공 BB-6과 전기비저항 이상대에 위치하는 3+600 지점의 시추공 BB-6-1의 시추코아 사진을 보여준다. 시추공 BB-6에서는 국부적으로 파쇄구간이 있고 절리들이 발달하고 있지만 큰 규모의 파쇄대는 발견되지 않는다. 이에 반해, 시추공 BB-6-1에서는 심도 15.5 ~ 17 m 구간에서 TCR이 30 % 정도로

떨어지는 구간이 존재하고 하부에서도 단층파쇄대가 관찰된다.

시추공 BB-6-1에서 촬영한 시추공 영상 결과에서도 심도 14.5 ~ 15 m, 15.5 ~ 17 m 그리고 18 m 부근에서 점토등이 충진되어 있는 것으로 판단되는 연약대 구간이 관찰된다. 이상의 결과로 미루어 볼 때, 3+600 부근의 저비저항 이상대는 단층파쇄대인 것으로 판단되며, 주변 시추공들의 시추결과 및 시추공 영상 촬영 결과들을 종합하였을 때 단층의 경사는 70 ~ 80°정도인 것으로 추정되었다.

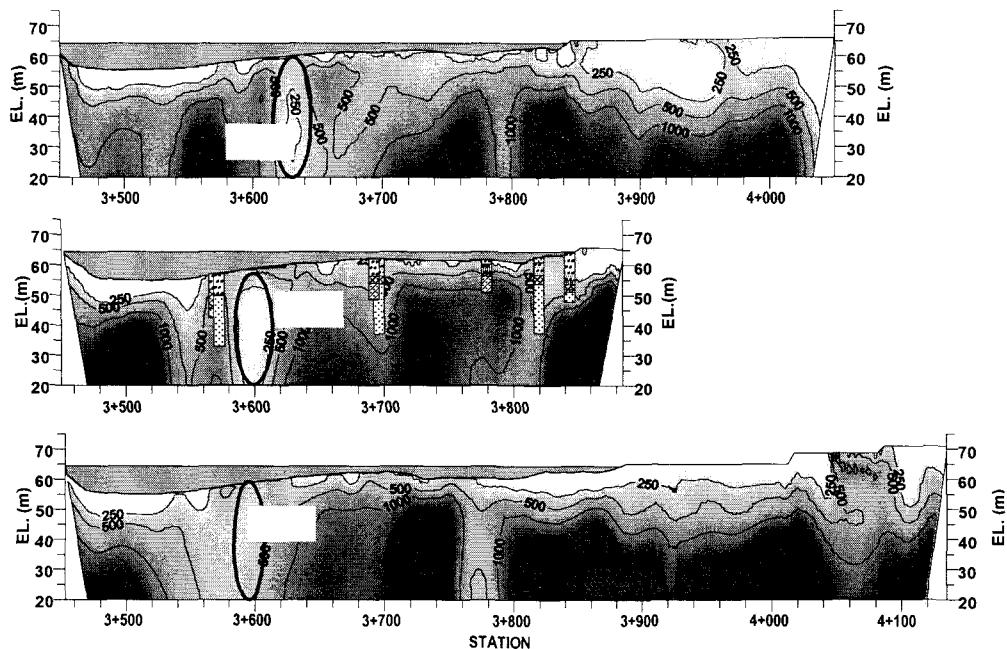


Fig. 9. Electrical resistivity sections of the south Han river: (top) Line 2, (middle) Line 1, (bottom) Line 3.

4. 탐사 결과의 설계 활용

4.1 북한강 탐사 사례

당초 교량 설계시 전기비저항 이상대 C위치 (Fig 7 참조)에 14번 교각을 건설하는 것으로 설계되어 이 구간에 시추조사 (시추공 BB-59)를 실시하였으며, 그 결과 최소한 30 m 심도까지 점토화된 단층 구간이 분포하였다. 이에 단층파쇄대가 교각의 안정에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 수직적으로 분포하는 고각의 단층파쇄대 상부에 우물통 기초형식의 교각이 건설된 후 예상되는 침하량을 모델링 하였으며, 그 결과 침하량이 침하량이 허용기준치를 초과하는 66 mm로 예측되었다 (Fig. 11). 따라서 당초 설계상 14번 교각이 위치할 시추공 BB-59 지점은 단층파쇄대 상부로 교각 건설 위치로는 부적합한 것으로 판정되었다.

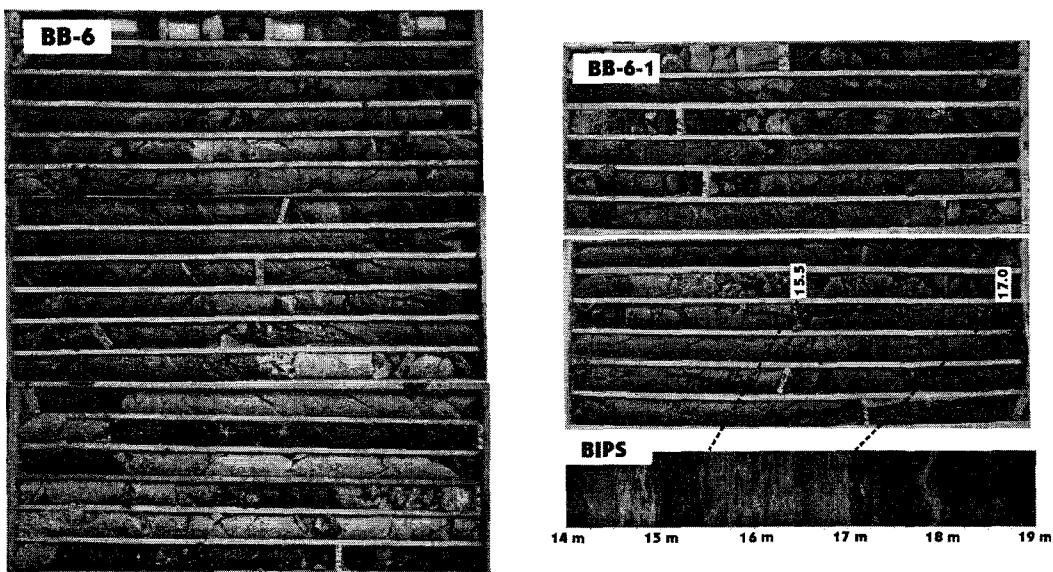


Fig. 10. Drilling cores at 3+570 and 3+600 and BIPS image of anomalous region.

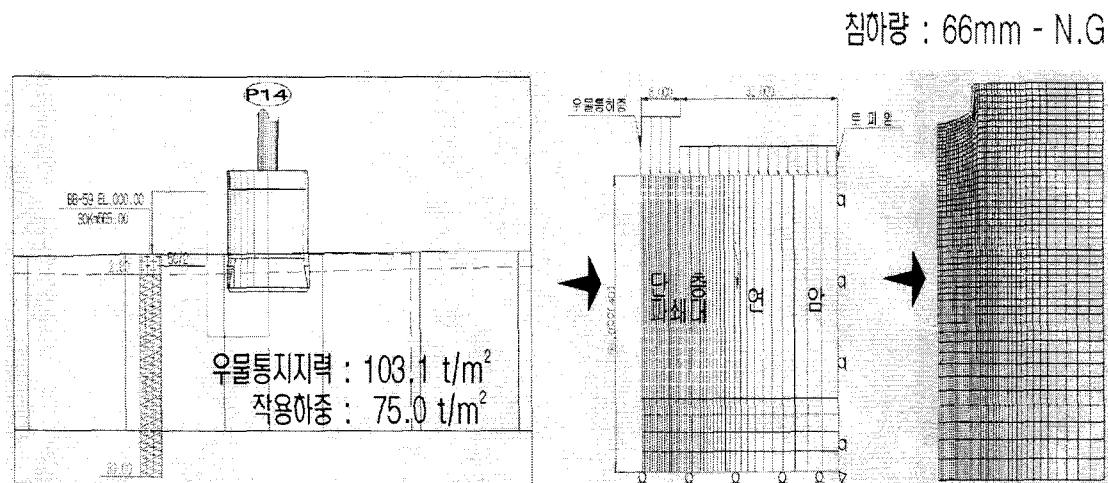


Fig. 11. Modeling result of settlement of pier on the fault fracture zone.

하지만, 교량 설계상 14번 교각의 위치를 변경하게 되면 나머지 교각의 위치도 변경해야 하며, 만약 다른 교각의 위치를 변경하게 되면 당초 설계 위치에서 나타나지 않은 단층파쇄대가 변경된 위치에서 나타날 수 있기 때문에 교량 전구간 하부에서의 단층파쇄대의 위치에 대한 정보가 필수적으로 요구된다. 이에 Fig. 7의 하상 전기비저항 탐사 결과를 바탕으로 경강단층의 주단층이 지날 것으로 판단되는 이상대 B와 C를 피하여 교각간의 거리인 경간을 넓혀서 교각의 위치를 변경하였다. Fig. 12는 당초 설계된 교각의 위치와 탐사 결과 및 시추조사를 통해 경강단층의 위치를 파악하여 주단층대를 피하도록 설계된 교각의 위치를 모식적으로 나타낸 것이다. Fig. 12에서 보면, 당초 설계시 13번 교각이 수반단층 상부에 14번 교각이 주단층 상부에 위치하였으나, 변경된 설계에서는 13번 교각이 수반단층 인근에 위치하는 것을 제외하면, 교각의 위치가 주단층은 피한 것을 볼 수 있다. Fig. 13은 새로 변경된 교각 중 13번 교각과 14번 교각의 침하량을 모델링한 결과로, 당초 설계시 14번 교각

에서 예측된 침하량 66 mm 보다 매우 작은 9.5 mm와 3.4 mm의 허용치보다 작은 침하량이 예측되었다.

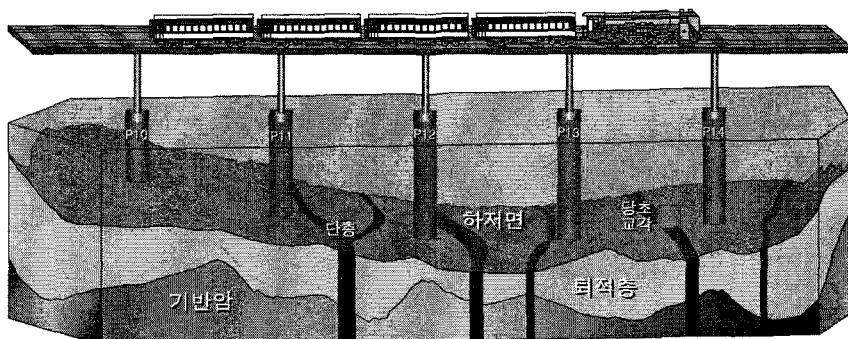


Fig. 12. Schematic describing modification of pier location to avoid fault fracture zone.

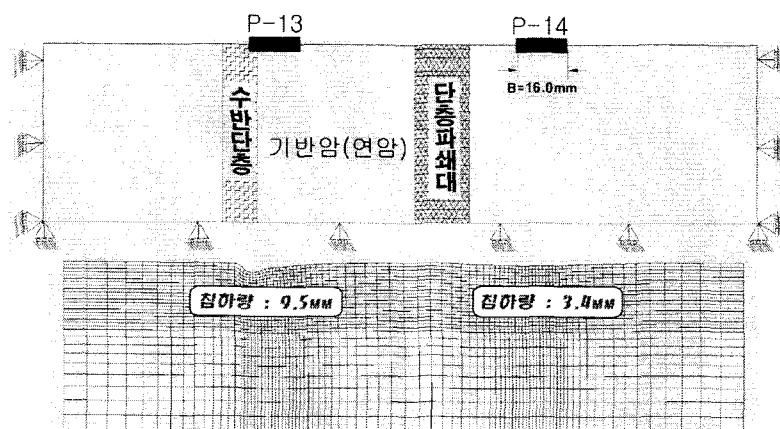


Fig. 13. Modeling result of settlement of pier(P-13) near small fault.

4.2 남한강 탐사 사례

Fig. 14는 충주의 남한강 지역에서 수행된 수륙혼합 전기비저항 탐사 단면에 시추주상도와 최종적으로 설계된 교량을 함께 도시한 것이다. Fig. 14를 보면, 3+550 - 3+600 구간에서 저비저항 이상대가 심부까지 발달하고 있음을 알 수 있으며, 이에 따라 상대적으로 전기비저항이 높게 나타나는 3+570 부근에 교각이 위치하도록 교량을 설계하였다. 한편, 나머지 교각들의 위치에서는 뚜렷한 저비저항 이상대가 관찰되지 않음을 볼 수 있다.

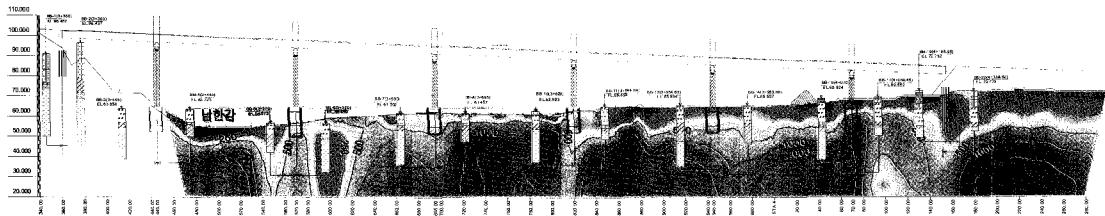


Fig. 14. Resistivity section of the south Han river site with designed bridge.

5. 결론

최근에 건설되는 교량의 경간은 점점 넓어지는 추세이며, 이에 따라 적절한 기초지반을 선택하기 위해 지하 구조에 대한 정보의 획득이 중요한 문제 중의 하나이다. 시추조사의 경우 가장 정확한 방법이지만 경우에 따라서는 시추공 인근의 중요한 지질정보를 파악하지 못 할 가능성이 있으며, 지질조사의 경우 강 구간에서는 강물과 충적층으로 인하여 직접적인 노두 관찰이 불가능한 제한점이 있다. 이러한 상황에서 물리탐사는 대상 지역의 전반적인 지질구조를 파악하는데 유용한 수단이 될 수 있다. 그동안 육상에서 주로 응용되었던 전기비저항 탐사를 강 구간에 적용한 결과 성공적으로 지하 지질구조에 대한 정보를 획득할 수 있었다. 이러한 정보는 공사 예정부지의 전반적인 지질상황을 파악하는데 매우 유용하게 활용될 수 있으며, 교량 설계시 적절한 기초 지반 선택에 도움이 된다. 또한 예상치 못한 지반 상황에 의해 시공 중에 설계가 변경되거나, 연약한 지반의 보강을 실시할 경우 수반되는 환경오염, 비용증가를 사전에 설계단계에서 방지하는데 매우 유용하게 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

6. 참고문헌

- 김정호, 이명종, 송윤호, 정승환, 2001, 2차원 전기비저항 탐사를 위한 전극배열법의 비교, 한국자원공학회지, Vol. 38, No. 2, pp. 116-128.
- 한국동력자원연구소, 1981, 한국지질도 1:50,000 청평도록, 56p.
- Chung, H. J., Kim, J. H., Park, K. P., Kwon, H. S., Choi, H. S., Kim, K. S., and Kim, J. S., 2001, Application of geophysical results to designing bridge over a large fault, *Fourth Asian Young Geotechnical Engineers Conference*, Seoul, Korea
- Kim, J. H., Yi, M. J., Song, Y., Cho, S. J., Chung S. H., and Kim, K. S., 2002, DC resistivity survey to image faults beneath a riverbed, *SAGEEP 2002*, EEGS, Las Vegas, USA, 13IDA10.